

**Cylindrical reactor for hydrocarbon oxidation has heat exchange plates radially aligned around central inner space and having inlets and outlets for the heat exchange agent**

**Patent number:** DE10031347  
**Publication date:** 2001-01-04  
**Inventor:** MACHHAMMER OTTO (DE); OLBERT GERHARD (DE); STABEL UWE (DE); ZEHNER PETER (DE)  
**Applicant:** BASF AG (DE)  
**Classification:**  
- **International:** B01J8/00; B01J8/24; F28D9/00; C07B33/00; C07C57/045; C07C45/27; C07D301/06; C07D307/60; C07D307/89; C07C57/05; C07D301/08  
- **European:** B01J8/24L; B01J8/08F; B01J8/08H; B01J8/18G; B01J8/18H; B01J19/24R4; C07C45/33; C07C45/34; C07C45/35; C07C51/215; C07C51/25B; C07C51/265; F28D9/00B; F28D9/00D2; F28D13/00  
**Application number:** DE20001031347 20000628  
**Priority number(s):** DE20001031347 20000628; DE19991029487 19990628

**Abstract of DE10031347**

Cylindrical reactor has heat exchange plates, along the longitudinal direction of the reactor, with inlets and outlets for the heat exchange agent and which are radially aligned around a central inner space.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (USPTO)

⑯ Offenlegungsschrift  
⑯ DE 100 31 347 A 1

⑯ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**B 01 J 8/00**

B 01 J 8/24  
F 28 D 9/00  
C 07 B 33/00  
C 07 C 57/045  
C 07 C 45/27  
C 07 D 301/06  
C 07 D 307/60  
C 07 D 307/89  
C 07 C 57/05  
C 07 D 301/08

⑯ Innere Priorität:  
199 29 487. 9 28. 06. 1999

⑯ Anmelder:  
BASF AG, 67063 Ludwigshafen, DE

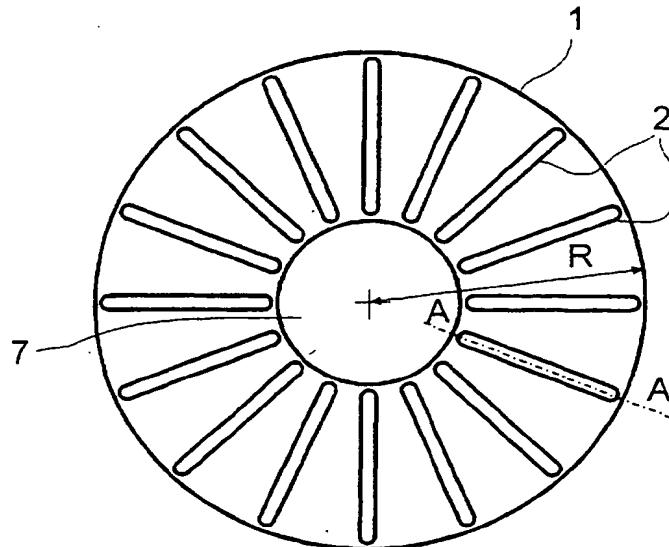
⑯ Vertreter:  
Patent- und Rechtsanwälte Bardehle, Pagenberg,  
Dost, Altenburg, Geissler, Isenbruck, 68165  
Mannheim

⑯ Erfinder:  
Machhammer, Otto, Dr., 68163 Mannheim, DE;  
Olbert, Gerhard, 69221 Dossenheim, DE; Stabel,  
Uwe, Dr., 67166 Otterstadt, DE; Zehner, Peter, Dr.,  
67071 Ludwigshafen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

⑯ Reaktor mit Wärmetauscherplatten

⑯ Es wird ein zylindrischer Reaktor (1) mit voneinander  
beabstandet, in Längsrichtung des Reaktors (1) angeordneten Wärmetauscherplatten (2, 3, 4), die von einem Wärmetauschermittel durchströmt sind, mit Zu- und Abführeinrichtungen (5, 6) für das Wärmetauschermittel zu den Wärmetauscherplatten (2, 3, 4) sowie mit Zwischenraum zwischen den Wärmetauscherplatten (2, 3, 4), die von einem Reaktionsmedium durchströmt werden, vorgeschlagen,  
wobei die Wärmetauscherplatten (2, 3, 4) unter Freilassung eines zentralen Innenraums (7) im Reaktor (1) radial  
angeordnet sind.



## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen zylindrischen Reaktor mit voneinander beabstandet, in Längsrichtung des Reaktors angeordneten Wärmetauscherplatten sowie eine Verwendung des Reaktors.

Gattungsgemäße Reaktoren sind in der chemischen Reaktionstechnik bekannt, insbesondere für die Durchführung von Reaktionen mit hoher Wärmetönung, wobei es sich gleichermaßen um exotherme wie auch um endotherme Reaktionen handeln kann. Die DE-C-197 54 185 beschreibt einen Reaktor mit einem zylinderförmigen Reaktorbehälter, wobei im Reaktorbehälter als Thermobleche ausgebildete Wärmetauscherplatten in vertikaler Orientierung auf dem Siebboden des Reaktors nebeneinander, mit vorgegebenem Abstand voneinander angeordnet sind. Die Platten werden von einem Kühlmedium durchströmt, das im Bereich der Behälterdecke über geeignete Einrichtungen den Wärmetauscherplatten zugeführt und im Bereich des Behälterbodens über geeignete Einrichtungen aus den Wärmetauscherplatten abgeführt wird. Zwischen den Wärmetauscherplatten wird im Gegenstrom zum Kühlmedium ein gasförmiges Reaktionsmedium, mit Zuführung im Bereich des Behälterbodens und Abführung im Bereich der Behälterdecke, geleitet. Die als Thermobleche ausgebildeten Wärmetauscherplatten ermöglichen die Verwirklichung eines kompakten Wärmetauschers mit großer Heizflächendichte ohne Strömungstotzonen; sie haben jedoch insbesondere den Nachteil, daß sie an die Behälterinnenwand angepaßt werden müssen, wobei es nicht möglich ist, Thermobleche einer einzigen Baugröße oder einer geringen Zahl voneinander unterschiedlicher Baugrößen, beispielsweise von 2 oder 3 Baugrößen, einzusetzen.

Es ist demgegenüber Aufgabe der Erfindung, einen Reaktor mit Wärmetauscherplatten zur Verfügung zu stellen, der konstruktionstechnisch einfach herzustellen ist.

In einer Ausgestaltung ist es Aufgabe der Erfindung, einen Reaktor zur Verfügung zu stellen, der strömungstechnisch besonders vorteilhaft ist, und der eine flexible Anpassung an das Temperaturprofil unterschiedlicher chemischer Reaktionen ermöglicht.

Die Lösung geht aus von einem zylindrischen Reaktor mit voneinander beabstandet, in Längsrichtung des Reaktors angeordneten Wärmetauscherplatten, die von einem Wärmetauschmittel durchströmt sind, mit Zu- und Abföhreinrichtungen für das Wärmetauschmittel zu den Wärmetauscherplatten sowie mit Zwischenräumen zwischen den Wärmetauscherplatten, die von einem Reaktionsmedium durchströmt werden.

Die Lösung ist dann dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmetauscherplatten unter Freilassung eines zentralen Innenraums im Reaktor radial angeordnet sind.

In einer besonderen Ausführungsvariante ist die Lösung dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmetauscherplatten unter Freilassung eines peripheren Kanals von den Reaktorwänden beabstandet angeordnet sind und daß das Reaktionsmedium radial durch die Zwischenräume zwischen den Wärmetauscherplatten geführt wird.

Es wurde demnach eine konstruktionstechnisch einfache und kostengünstige Lösung für einen Reaktor mit Wärmetauscherplatten gefunden.

Zylindrische Reaktoren weisen in der Regel an beiden Reaktoren Abdeckungen, die häufig kalottenförmig ausgebildet sind, auf, mit Zu- bzw. Abföhreinrichtungen für das Reaktionsgemisch und/oder das Wärmetauschmittel. Zylindrische Reaktoren können grundsätzlich in jeder Position ausgerichtet sein, wobei eine vertikale Ausrichtung in der Regel bevorzugt ist.

Wärmetauscherplatten sind überwiegend flächenförmige Gebilde, die einen mit Zu- und Abföhreitungen versehenen Innenraum mit geringer Dicke im Verhältnis zur Fläche aufweisen. Sie werden in der Regel aus Blechen, häufig aus

5 Stahlblechen, hergestellt. Je nach Anwendungsfall, insbesondere den Eigenschaften des Reaktionsmediums sowie des Wärmetauschmittels können jedoch spezielle, insbesondere korrosionsfeste, Werkstoffe zum Einsatz kommen. Die Zu- bzw. Abföhreinrichtungen für das Wärmetauschmittel sind in der Regel an einander entgegengesetzten Enden der Wärmetauscherplatten angeordnet; bei der erfindungsgemäßen, radialen Ausrichtung der Wärmetauscherplatten in einem zylindrischen Reaktor ist es besonders vorteilhaft, das Wärmetauschmittel den Wärmetauscherplatten über Ringleitungen zu- bzw. abzuführen. Bei vertikal stehender Ausrichtung des zylindrischen Reaktors ist es besonders bevorzugt, das Wärmetauschmittel über die untere Ringleitung den Wärmetauscherplatten zu- bzw. über die obere Ringleitung aus den Wärmetauscherplatten abzuführen.

10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65

Erfindungsgemäß sind die Wärmetauscherplatten unter Freilassung eines zentralen Innenraums im Reaktor radial, d. h. entlang der Reaktoradien, angeordnet.

Der zentrale Innenraum, der in geeigneter Weise mit Zu- bzw. Abföhreinrichtungen für das Reaktionsmedium zu- bzw. von den Zwischenräumen zwischen den Wärmetauscherplatten verbunden ist, kann grundsätzlich jede geometrische Form, beispielsweise die Form eines Vielecks, insbesondere die Form eines Dreiecks, eines Quadrats, eines bevorzugt regelmäßigen Sechsecks oder eines bevorzugten regelmäßigen Achtecks sowie auch eine im wesentlichen kreisförmige Gestalt aufweisen.

Bevorzugt erstrecken sich die Wärmetauscherplatten in Längsrichtung des Reaktors im wesentlichen über die gesamte Länge des zylindrischen Reaktors mit Ausnahme der Reaktorenenden.

In einer bevorzugten Ausführungsform sind die Wärmetauscherplatten unter Freilassung eines peripheren Kanals von den Reaktorwänden beabstandet angeordnet, wobei das Reaktionsmedium radial durch die Zwischenräume zwischen den Wärmetauscherplatten geführt wird. Der periphere Kanal ist bevorzugt ringförmig. Er dient als Sammel- und/oder Verteilkammer für das Reaktionsmedium. Der periphere Kanal kann durch ein zylindermantelförmiges Sieb von den Zwischenräumen zwischen den Wärmetauscherplatten getrennt sein; analog kann ein entsprechendes Sieb die Zwischenräume zwischen den Wärmetauscherplatten vom zentralen Innenraum trennen. Diese Ausgestaltung kann insbesondere geeignet sein, wenn eine Reaktion unter Verwendung eines Katalysators durchgeführt wird, der in die Zwischenräume zwischen den Wärmetauscherplatten eingebracht ist und dessen Austragung mit dem Reaktionsmedium durch entsprechende Wahl der Siebmaschenweite verhindert werden soll.

Die Radialführung des Reaktionsmediums kann zentrifugal und/oder zentripetal erfolgen, wobei für den Fall, daß ein einziger Richtungssinn der radialen Stromführung vorgesehen ist, die zentrifugale Führung des Reaktionsmediums besonders vorteilhaft ist.

Die radiale Stromführung des Reaktionsmediums zwischen den radial angeordneten Wärmetauscherplatten hat den Vorteil eines niedrigen Druckverlustes. Bei Reaktionen, die unter Gasentwicklung ablaufen sind die Druckverhältnisse bei zentrifugaler Führung, aufgrund der nach außen zunehmenden Abständen zwischen den Wärmetauscherplatten, besonders günstig.

Bei radialer Stromführung des Reaktionsmediums durch die Zwischenräume zwischen den radial angeordneten Wärmetauscherplatten ändert sich die zur Verfügung stehende

Wärmeaustauschfläche kontinuierlich. So nimmt die Austauschfläche bei zentrifugaler Führung des Reaktionsmediums kontinuierlich nach außen ab, wodurch bei Reaktionen mit veränderlichem Wärmeprofil, insbesondere mit abnehmender Exothermie über den Reaktionsverlauf, eine Optimierung des Wärmeaustausches gewährleistet wird.

Die radiale Ausdehnung aller Wärmetauscherplatten ist bevorzugt gleich; eine Anpassung der Wärmetauscherplatten an die Behälterinnenwand des Reaktors ist somit nicht erforderlich, es können im Gegenteil Platten eines einzigen Bautyps eingesetzt werden.

Die radiale Ausdehnung der Wärmetauscherplatten liegt bevorzugt im Bereich von 0,1 bis 1 des Reaktorradius, besonders bevorzugt im Bereich von 0,4 bis 0,9 des Reaktorradius.

Die Wärmetauscherplatten sind im wesentlichen geradflächig ausgebildet. Dies bedeutet nicht, daß es sich um völlig ebene Gebilde handelt, sie können im Gegenteil insbesondere regelmäßig gebogen, gefaltet, geknickt oder gewellt sein. Die Wärmetauscherplatten werden nach bekannten Verfahren hergestellt, insbesondere gepreßt oder vakuumgezogen.

Bevorzugt können in den Wärmetauscherplatten periodisch profilierte Strukturelemente, insbesondere gewellte Platten, angeordnet sein. Derartige Strukturelemente sind als Mischelemente in statischen Mischern bekannt, und beispielsweise in DE 196 23 051.9 beschrieben, sie dienen vorliegend insbesondere zur Optimierung des Wärmeaustauschs. Zur Anpassung an das geforderte Wärmeprofil ist es möglich, eine höhere Plattendichte im äußeren Reaktorbereich gegenüber dem inneren Reaktorbereich vorzusehen, insbesondere zusätzliche Platten im äußeren Reaktorbereich mit geringerer radialer Ausdehnung gegenüber den übrigen Wärmetauscherplatten, bevorzugt mit einer radialen Ausdehnung im Bereich von 0,1 bis 0,7, besonders bevorzugt 0,2 bis 0,5 der radialen Ausdehnung der übrigen Wärmetauscherplatten. Die zusätzlichen Platten können dabei untereinander die gleichen Abmessungen aufweisen, es ist jedoch auch möglich, zwei oder mehrere Bautypen von zusätzlichen Platten einzusetzen, wobei sich die Bautypen untereinander durch ihre radiale Ausdehnung und/oder ihre Länge unterscheiden.

Die zusätzlichen Wärmetauscherplatten sind bevorzugt symmetrisch zwischen den übrigen Wärmetauscherplatten angeordnet. Sie ermöglichen eine verbesserte Anpassung an das Temperaturprofil der jeweiligen chemischen Reaktion.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist es möglich, die Wärmetauscherplatten keilförmig, insbesondere doppelt keilförmig auszubilden. Danach werden die die Wärmetauscherplatten bildenden Bleche mit einem spitzen und einem gegenüberliegenden, etwas breiterem Abschluß ausgebildet. Durch die radiale Anordnung derselben im Reaktor ist es möglich, weitgehend gleichförmige Strömungspfade für das Reaktionsgemisch zu gewährleisten. Es ist gleichermaßen möglich, sämtliche Wärmetauscherplatten mit gleicher radialer Ausdehnung oder Wärmetauscherplatten mit unterschiedlicher radialer Ausdehnung vorzusehen. Besonders bevorzugt können die Wärmetauscherplatten doppelt keilförmig ausgebildet sein.

In einer besonderen Ausführungsform ist es möglich, mindestens einen Ringkanal am äußeren Umfang des mit den Wärmetauscherplatten ausgestatteten Reaktorraumes vorzusehen, mit darin radial angeordneten äußeren Wärmetauscherplatten.

Eine vorzilhafte Reaktorvariante weist eine durchgehende Katalysatorschüttung auf, mit Auffülldom am oberen Rektorende und Entleerungseinrichtung am unteren Ende des Reaktors. Hierbei wird ein Katalysatorpuffer gebildet,

der stets eine vollständige Katalysatorfüllung gewährleistet. Insbesondere zur Durchführung von Reaktionen unter adiabaten Bedingungen ist es möglich, den Reaktor der gestalt abzuwandeln, daß in der Katalysatorschüttung keine Wärmetauscherplatten angeordnet sind.

Besonders bevorzugt sind die äußeren Wärmetauscherplatten gegenüber den übrigen Wärmetauscherplatten versetzt angeordnet. Die versetzte Anordnung ist insbesondere bei stark exothermen Reaktionen günstig; hierbei werden durch das zwischen zwei Wärmetauscherplatten hincende Ende der versetzt angeordneten Wärmetauscherplatten die im Bereich zwischen den Wärmetauscherplatten besonders hohen Temperaturen abgefangen. Hierfür ist es besonders vorteilhaft, wenn sich die versetzt angeordneten Wärmetauscherplatten jeweils zumindest teilweise überlappen.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird ein Reaktor zur Verfügung gestellt, der aus zwei oder mehreren insbesondere abnehmbaren Reaktorschüssen aufgebaut ist, wobei die Strömung des Reaktionsmediums zwischen jeweils zwei aufeinander folgenden Reaktorschüssen durch geeignete Umlenkleche gelenkt wird. Die einzelnen Reaktorschüsse sind in der oben beschriebenen Weise ausgebildet, d. h. insbesondere mit radial angeordneten Wärmetauscherplatten sowie mit Zu- und Abflußeinrichtungen für das Wärmetauschmittel und das Reaktionsmedium. Die einzelnen Reaktorschüsse sind mittels Flanschen nach Bedarf zusammensetbar. Die Strömung des Reaktionsmediums zwischen zwei aufeinander folgenden Reaktorschüssen wird durch geeignete Umlenkleche gewährleistet, die eine Umlenkl- und/oder Trennfunktion haben. Durch geeignete Wahl der Anzahl von Umlenklechen kann eine mehrfache Umlenkung des Reaktionsmediums erreicht werden.

Es ist möglich, an einem oder mehreren der Reaktorschüsse Zwischeneinspeisungstellen für das Reaktionsmedium, insbesondere über den peripheren Kanal, vorzusehen. Dadurch können in vorteilhafter Weise die Reaktionsführung und der Temperaturverlauf optimiert werden.

Es ist möglich, einen Reaktor mit mehreren Reaktorschüssen mit einem einzigen Wärmetauschmittelkreislauf auszustalten. In bevorzugter Weise können jedoch auch zwei oder mehrere getrennte Wärmetauschmittelkreisläufe durch die Wärmetauscherplatten vorgesehen sein. Damit kann eine verbesserte Anpassung an unterschiedliche Wärmeaustauschanforderungen mit fortschreitender chemischer Reaktion erreicht werden; es kann beispielsweise bei Reaktionen, die bislang unter Verwendung von zwei oder mehreren Katalysatorsystemen mit unterschiedlicher katalytischer Aktivität durchgeführt wurden, auf ein einheitliches Katalysatorsystem abgestellt werden.

In einer besonderen Ausgestaltung ist im Reaktor im oberen Bereich des zentralen Innenraums eine Strahldüse angeordnet und im zentralen Innenraum ein konzentrisches Leitrohr, das sich im wesentlichen über die gesamte Länge des Reaktors mit Ausnahme der Rektorende erstreckt und eine Querschnittsfläche im Bereich von einem Zehntel bis zur Hälfte der Querschnittsfläche des Reaktors aufweist. Bevorzugt kann im Reaktorbereich unterhalb des unteren Endes des konzentrischen Leitrohrs eine Prallplatte angeordnet sein.

Eine derartige Ausführungsform ist insbesondere für die Durchführung von Reaktionen in Zwei- oder Dreiphasensystemen vorteilhaft, für die eine intensive Phasendurchmischung besonders wichtig ist, bevorzugt für die Flüssigphasenoxidation von O-Xylo. Durch die konstruktive Ausgestaltung wird eine interne Schlaufenströmung gewährleistet, wobei der überwiegende Teil des Reaktionsgemisches, entsprechend dem zwei- bis dreißigfachen, insbesondere dem

fünf bis zehnfachen des Volumenstroms des extern umgepumpten Reaktionsgemisches das konzentrische Leitrohr von oben nach unten und den Ringraum zwischen Leitrohr und Reaktorinnenwand von unten nach oben durchströmt. Derartige Reaktoren sind beispielsweise in der nicht vorveröffentlichten Deutschen Patentanmeldung DE 198 54 637.8 beschrieben. Durch die radiale Anordnung von Wärmetauscherplatten im Reaktorraum zwischen dem zentralen Innenraum und der Reaktorinnenwand werden die genannten Reaktoren verbessert, insbesondere bezüglich der Wärmeaustauschegenschaften.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform kann der Reaktor als Wirbelschichtreaktor ausgebildet sein. Durch die erfundungsgemäße Anordnung von radialen Wärmetauscherplatten in der Wirbelschicht kann insbesondere der Wärmeübergang verbessert werden.

Der erfundungsgemäße Reaktor ist insbesondere für Reaktionsmedien in der Gasphase von Vorteil. Die strömungstechnischen Vorteile und der geringere Druckverlust kommen dabei besonders zum Tragen.

Der erfundungsgemäße Reaktor eignet sich besonders zur Durchführung von Gasphasenreaktionen in Gegenwart eines Katalysators, insbesondere eines bewegten Katalysators. Bewegte Katalysatoren haben dabei insbesondere den Vorteil, gegenüber Festbettkatalysatoren feinteiliger ausgebildet werden zu können, wodurch die katalytisch wirksame Oberfläche größer ist.

Es ist jedoch auch möglich, zusätzlich oder alternativ zu einem bewegten Katalysator denselben als Beschichtung auf den Wärmetauscherplatten des Reaktors aufzubringen. Die Beschichtung der Wärmetauscherplatten kann vor oder nach deren Einbau in den Reaktor erfolgen. Sind die Wärmetauscherplatten bereits eingebaut, wird eine Suspension des Katalysators durch den Reaktor gepumpt. Durch ein insbesondere elektrolytisches Abscheidungsverfahren wird der Katalysator an den Wärmetauscherplatten abgeschieden und anschließend calciniert, beispielsweise durch ein heißes Wärmetauschermittel in den Wärmetauscherplatten oder mittels einer mobilen Wälzgasstation. Vor dem Einbau in den Reaktor kann die Beschichtung durch Tauchen oder Besprühen erfolgen. Durch den Einsatz beschichteter Wärmetauscherplatten wird eine optimale Abführung der Reaktionswärme gewährleistet.

Besonders vorteilhaft kann der Reaktor zur Durchführung von exothermen Reaktionen, insbesondere von Oxidationsreaktionen, besonders bevorzugt zur Oxidation von Kohlenwasserstoffen, insbesondere Alkanen und Alkenen eingesetzt werden, sowie zur Herstellung von Acrolein, Acrylsäure, Ethylenoxid, Propylenoxid, Maleinsäureanhydrid, Phthalsäureanhydrid oder Glyoxal.

Weiterhin können vorteilhaft endotherme Reaktionen durchgeführt werden, insbesondere Dehydrierungen, bevorzugt die Propandehydrierung, die Styrolsynthese aus Ethylbenzol, die Herstellung von Blausäure aus Formamid sowie die Vinylformamidherstellung.

Die Erfindung wird im folgenden anhand von Ausführungsbeispielen und einer Zeichnung näher erläutert. Es zeigen im einzelnen:

**Fig. 1** einen Querschnitt durch eine erste Ausführungsform eines erfundungsgemäßen Reaktors,

**Fig. 1a** einen Längsschnitt durch eine Wärmetauscherplatte gemäß **Fig. 1**,

**Fig. 2** einen Querschnitt durch eine bevorzugte Ausführungsform mit zusätzlichen Wärmetauscherplatten,

**Fig. 3** einen Querschnitt durch eine weitere bevorzugte Ausführungsform mit zwei Bautypen von zusätzlichen Wärmetauscherplatten,

**Fig. 4a** einen Längsschnitt durch eine bevorzugte Aus-

führungsform mit peripherem Kanal und Radialführung des Reaktionsmediums.

**Fig. 4b** einen Querschnitt durch die in **Fig. 4a** im Längsschnitt dargestellte Ausführungsform,

**Fig. 5a** eine weitere bevorzugte Ausführungsform im Längsschnitt mit mehreren Reaktorschüssen,

**Fig. 5b** einen Querschnitt im Bereich A-A durch den in **Fig. 5a** im Längsschnitt dargestellten Reaktor,

**Fig. 5c** einen Querschnitt im Bereich B-B durch den in **Fig. 5a** im Längsschnitt dargestellten Reaktor,

**Fig. 6a** eine weitere bevorzugte Ausführungsform im Längsschnitt, mit mehreren Wärmetauschermittelkreisläufen,

**Fig. 6b** einen Querschnitt im Bereich A-A durch den in **Fig. 6a** im Längsschnitt dargestellten Reaktor,

**Fig. 6c** eine weitere bevorzugte Ausführungsform im Längsschnitt, mit Zwischeneinspeisung sowie mit Katalysatorschüttung,

**Fig. 7b** einen Querschnitt im Bereich A-A durch den in **Fig. 7a** im Längsschnitt dargestellten Reaktor,

**Fig. 7c** einen Querschnitt im Bereich B-B durch den in **Fig. 7a** im Längsschnitt dargestellten Reaktor,

**Fig. 8a** eine weitere bevorzugte Ausführungsform im Längsschnitt, mit Zwischeneinspeisung und Katalysatorschüttung, wobei in der Katalysatorschüttung keine Wärmetauscherplatten angeordnet sind,

**Fig. 8b** einen Querschnitt im Bereich A-A durch den in **Fig. 8a** im Längsschnitt dargestellten Reaktor,

**Fig. 8c** einen Querschnitt im Bereich B-B durch den in **Fig. 8a** im Längsschnitt dargestellten Reaktor,

**Fig. 9** eine weitere bevorzugte Ausführungsform mit innerer Schlaufenströmung des Reaktionsmediums und

**Fig. 10** eine weitere bevorzugte Ausführungsform als Wirbelschichtreaktor,

**Fig. 11a** eine weitere bevorzugte Ausführungsform im Längsschnitt als Blasensäulenreaktor,

**Fig. 11b** einen Querschnitt durch den in **Fig. 11a** im Längsschnitt dargestellten Reaktor,

**Fig. 12** eine weitere bevorzugte Ausführungsform im Längsschnitt, als Kristalle und

**Fig. 13-15** Querschnitte durch weitere bevorzugte Ausführungsformen mit keilförmig ausgebildeten Wärmetauscherplatten.

In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugsziffern und gleiche oder entsprechende Merkmale.

Der in **Fig. 1** dargestellte Querschnitt eines bevorzugten erfundungsgemäßen Reaktors 1 mit dem Reaktoradius R zeigt radial angeordnete Wärmetauscherplatten 2 mit radialer Ausdehnung r, die symmetrisch über den Reaktorquerschnitt verteilt sind und einen zentralen Innenraum 7 freilassen.

**Fig. 1a** zeigt einen Längsschnitt A-A durch eine Wärmetauscherplatte 2 mit Zuführleitung 5 und Abführleitung 6 für das Wärmetauschermittel.

**Fig. 2** zeigt zusätzlich zu den Wärmetauscherplatten 2, symmetrisch angeordnete zusätzliche Wärmetauscherplatten 3 mit geringerer radialer Ausdehnung gegenüber den Wärmetauscherplatten 2.

**Fig. 3** zeigt zwei unterschiedliche Bautypen von zusätzlichen Wärmetauscherplatten 3, 4 mit jeweils geringerer radialer Ausdehnung gegenüber den Wärmetauscherplatten 2 und symmetrische Anordnung über den Querschnitt des Reaktors.

**Fig. 4a** zeigt einen Längsschnitt durch eine bevorzugte Ausführungsform mit peripherem Kanal 8. Bei Bedarf können Rückhaltescierbe 13 vorgesehen sein.

**Fig. 4b** zeigt einen Querschnitt durch den in **Fig. 4a** im Längsschnitt dargestellten Reaktor.

In **Fig. 5a** ist ein aus mehreren, über Flanschen verbunde-

nen Reaktorschüssen aufgebauter Reaktor im Längsschnitt schematisch dargestellt. Das Reaktionsgemisch strömt radial, abwechselnd zentrifugal bzw. zentripetal durch den Reaktor, wobei geeignete Umlenkscheiben 9 zwischen den Reaktorschüssen angeordnet sind. Durch seitliche Pfeile ist die Möglichkeit der Zwischeneinspeisung von Reaktionsgemisch angegedeutet.

In Fig. 5b ist ein Querschnitt durch den in Fig. 5a im Längsschnitt dargestellten Reaktor im Bereich A-A und in Fig. 5c im Bereich B-B dargestellt.

Der in Fig. 6a im Längsschnitt schematisch dargestellte Reaktor weist zwei getrennte Wärmetauschermittelkreisläufe auf, wobei die Zuführungseinrichtungen 5 und die Abführseinrichtungen 6 zweckmäßig als Ringkanäle ausgebildet sind.

Die Querschnittsdarstellung in Fig. 6b (Schnitt A-A) zeigt eine bevorzugte Ausführungsform mit Wärmetauscherplatten 2, 3, 4 unterschiedlicher radialen Ausdehnung.

In Fig. 7a ist schematisch im Längsschnitt ein Reaktor mit einer durchgehenden Katalysatorschüttung 17 dargestellt. Der Katalysator wird über einen Auffülldom 18 eingebracht, insbesondere mittels eines Vibrators hineingerüttelt. Durch die Einbringung über einen Auffülldom ist stets ein Katalysatorpuffer vorhanden, der stets ein kontinuierliche Füllung mit Katalysator gewährleistet. Die Katalysatorschüttung 17 wird über geeignete, insbesondere konisch ausgebildete Entleerungseinrichtungen 19, vorzugsweise mit Halterosten am Katalysatorablauf bei Bedarf aus dem Reaktor 1 abgezogen. Es ist möglich, am Reaktorumfang eine oder mehrere insbesondere ringförmige Zwischeneinspeisungen 20 für das Reaktionsgemisch vorzusehen. Der Reaktor ist bevorzugt in der Weise ausgebildet, daß die gesamten Inneneinbauten, insbesondere die Wärmetauscherplatten 2, 3, 4, 15 als Einstechmodul ausgestaltet sind und mit einer geeigneten Vorrichtung, insbesondere einem Kran, jederzeit herausziehbar und dadurch zugänglich sind.

Die Fig. 7b und 7c zeigen Querschnitte im Bereich A-A bzw. B-B durch den in Fig. 7a im Längsschnitt dargestellten Reaktor. Durch Pfeile ist die Strömung des Reaktionsgemisches, in Fig. 7b von innen nach außen und in Fig. 7c von außen nach innen verdeutlicht.

In Fig. 8a ist schematisch im Längsschnitt eine weitere bevorzugte Ausführungsform eines erfundungsgemäßen Reaktors dargestellt, mit durchgehender Katalysatorschüttung 17 sowie mit Zwischeneinspeisungen 20 für das Reaktionsgemisch. Abweichend von der in Fig. 7a bis 7c dargestellten Ausführungsform sind in der Katalysatorschüttung keine Wärmetauscherplatten vorgesehen. Eine derartige Ausführungsform ist insbesondere bei einer adiabatischen Reaktionsführung, beispielsweise beim Styrolverfahren, von Vorteil. Zusätzlich zu den im Ringkanal 15 angeordneten Wärmetauscherplatten 16 ist es möglich, im zentralen Innenraum 7 Wärmetauscherplatten 2 anzurufen, insbesondere in den Umlenkbereichen für das Reaktionsgemisch, wie in der Figur durch die mit Pfeil versehenen Linien dargestellt, unter Freilassung eines zentralen Innenbereichs für die Führung des Reaktionsgemisches. Aus den Querschnittsdarstellungen in Fig. 8b und 8c ist deutlich zu erkennen, daß im Bereich der Katalysatorschüttung 17 keine Wärmetauscherplatten angeordnet sind. Die inneren Wärmetauscherplatten 2 werden nur bei Bedarf vorgesehen.

In Fig. 9 ist schematisch im Längsschnitt ein Reaktor mit interner Schlaufenströmung des Reaktionsmediums dargestellt. Das Reaktionsmedium wird über eine Düse 10, die in das konzentrische Leitrohr 11 eintauchen kann oder auch oberhalb desselben enden kann, eingebracht und im Raum zwischen konzentrischem Innenrohr und Reaktorinnenwand in einer internen Schlaufenströmung geführt. Die Ausbil-

dung der Schlaufenströmung wird besonders durch eine im Bereich des Reaktorbodens angeordnete Prallplatte 12 unterstützt.

Fig. 10 zeigt einen Längsschnitt durch einen schematisch dargestellten Wirbelschichtreaktor. Im Bereich des Behälterbodens ist eine Verteilerplatte 14 angeordnet, auf der sich bei Zuführung des Reaktionsgases über das untere Reaktorende eine Wirbelschicht ausbildet. In der Wirbelschicht sind Wärmetauscherplatten 2 radial angeordnet.

Fig. 11a zeigt schematisch einen Längsschnitt durch eine als Blasensäulenreaktor ausgebildete besondere Ausführungsform mit einem Verteiler 21 im unteren Bereich des Reaktors 1, wobei der Verteiler als poröses Medium, insbesondere Fritte oder beispielsweise als Lochboden ausgebildet ist. Die Funktion des Verteilers können auch Einstechrohre mit Löchern in den Rohrwänden übernehmen. Durch Pfeile ist die Zuführung von Gas im unteren zentralen Bereich des Reaktors 1 und Abführung im oberen zentralen Bereich verdeutlicht sowie die Zuführung von Flüssigkeit im unteren Bereich des Reaktors 1, oberhalb des Verteilers 21 sowie Abführung im oberen Reaktorbereich, an der Peripherie. Die Querschnittsdarstellung in Fig. 11b (Schnitt A-A) zeigt beispielhaft radial angeordnete Wärmetauscherplatten 2, 3 mit unterschiedlicher radialer Ausdehnung.

In Fig. 12 ist eine weitere besondere Ausführungsform, als Kristaller, im Längsschnitt dargestellt. Das zu kristallisierende Gemisch wird über eine Zuführung 23 in den inneren Bereich des konzentrischen Leitrohrs 11 eingebracht, wo ein Rührer 22 angeordnet ist. Die Rührerwelle kann, wie in der Figur dargestellt, von oben kommen, es ist jedoch auch grundsätzlich möglich, die Rührerwelle von unten her im Reaktor anzuordnen. Unterhalb der radial angeordneten Wärmetauscherplatten 2 ist ein Grobkornabzug 24 vorgesehen und an der Peripherie des Reaktors 1 ein Feinkornabzug 25.

In Fig. 13 bis 15 sind Querschnitte durch besondere Ausführungsformen erfundungsgemäßer Reaktoren mit keilförmig ausgestalteten Wärmetauscherplatten dargestellt. Wie vorstehend bereits ausgeführt, werden Wärmetauscherplatten in der Regel aus Blechen hergestellt. Diese müssen nicht streng parallel angeordnet sein, möglich ist im Gegenteil auch eine keilförmige Ausbildung mit einem spitzen Abschluß und einem gegenüberliegenden, etwas breiteren Abschluß. Derart ausgebildete Wärmetauscherplatten sind besonders günstig in radialem Anordnung im Reaktor unterzubringen. Vorteilhaft ist dabei insbesondere die Ausbildung von weitgehend gleichförmigen Strömungspfaden für das Reaktionsgemisch zwischen den Wärmetauscherplatten. Zudem ist die Herstellung derartiger keilförmiger Wärmetauscherplatten technisch einfach und kostengünstig.

Wie in Fig. 13 dargestellt, können sämtliche, in Keilform ausgebildete Wärmetauscherplatten 2 gleichförmig ausgebildet sein, es ist jedoch auch möglich, entsprechend der Darstellung in Fig. 14, zusätzlich zu den Wärmetauscherplatten 2 mit größter radialer Ausdehnung zusätzliche Wärmetauscherplatten 3 mit geringerer radialer Ausdehnung vorzusehen.

In Fig. 15 sind besonders ausgebildete keilförmige Wärmetauscherplatten 26 dargestellt, die doppelt keilförmig gestaltet sind und eine besonders vorteilhafte Führung des Reaktionsmittelgemisches ermöglichen.

#### Patentansprüche

1. Zylindrischer Reaktor (1) mit voneinander beabstandet, in Längsrichtung des Reaktors (1), angeordneten Wärmetauscherplatten (2, 3, 4), die von einem Wärmetauschnittel durchströmt sind, mit Zu- und Ab-

führeinrichtungen (5, 6) für das Wärmetauschermittel zu den Wärmetauscherplatten (2, 3, 4) sowie mit Zwischenräumen zwischen den Wärmetauscherplatten (2, 3, 4), die von einem Reaktionsmedium durchströmt werden, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmetauscherplatten (2, 3, 4) unter Freilassung eines zentralen Innenraums (7) im Reaktor (1) radial angeordnet sind. 5

2. Reaktor (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Wärmetauscherplatten im wesentlichen über die gesamte Länge des zylindrischen Reaktors (1) mit Ausnahme der Reaktorenden erstrecken. 10

3. Reaktor (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmetauscherplatten (2, 3, 4) unter Freilassung eines peripheren Kanals (8) von den Reaktorwänden beabstandet angeordnet sind und daß das Reaktionsmedium radial durch die Zwischenräume zwischen den Wärmetauscherplatten (2, 3, 4) geführt wird. 15

4. Reaktor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die radiale Ausdehnung (r) aller Wärmetauscherplatten (2, 3, 4) gleich ist und bevorzugt 0,1 bis 1 des Reaktorradius (R), besonders bevorzugt 0,4 bis 0,9 des Reaktorradius (R) beträgt. 20

5. Reaktor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Wärmetauscherplatten (2, 3, 4) im wesentlichen geradflächig sind. 25

6. Reaktor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß in den Wärmetauscherplatten (2, 3, 4) periodisch profilierte Strukturelemente, insbesondere gewellte Platten, angeordnet sind. 30

7. Reaktor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch eine höhere Dichte von Wärmetauscherplatten (2, 3, 4) im äußeren Reaktorbereich gegenüber dem inneren Reaktorbereich, insbesondere durch zusätzliche Wärmetauscherplatten (3, 4) im äußeren Reaktorbereich mit geringerer radialex Ausdehnung (r) gegenüber den übrigen Wärmetauscherplatten (2), bevorzugt mit einer radialex Ausdehnung im Bereich von 0,1 bis 0,7, besonders bevorzugt 0,2 bis 0,5 der radialex Ausdehnung der übrigen Wärmetauscherplatten (2). 35

8. Reaktor (1) nach Anspruch 7, gekennzeichnet durch zwei oder mehrere Bautypen von zusätzlichen Platten (3, 4) wobei sich die Bautypen untereinander durch ihre radialex Ausdehnung unterscheiden. 40

9. Reaktor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet durch eine keilförmige, insbesondere doppelt keilförmige Ausbildung der Wärmetauscherplatten (2, 3, 4). 45

10. Reaktor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch mindestens einen Ringkanal (15) am äußeren Umfang des mit den Wärmetauscherplatten (2, 3, 4) ausgestatteten Reaktorraumes, mit darin radial angeordneten äußeren Wärmetauscherplatten (15). 50

11. Reaktor (1) nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die äußeren Wärmetauscherplatten (15) gegenüber den Wärmetauscherplatten (2, 3, 4) versetzt angeordnet sind. 55

12. Reaktor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, gekennzeichnet durch eine durchgehende Katalysatorschüttung (17) mit Auffülldom (18) im oberen Bereich des Reaktors (1) und Entleerungseinrichtung (19) im unteren Bereich des Reaktors (1). 60

13. Reaktor (1) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß im Bereich der Katalysatorschüttung (17) keine Wärmetauscherplatten (2, 3, 4) angeordnet sind. 65

14. Reaktor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß er aus zwei oder mehre-

ren insbesondere abnehmbaren Reaktorschüssen aufgebaut ist, und daß die Strömung des Reaktionsmediums zwischen jeweils zwei aufeinanderfolgenden Reaktorschüssen durch geeignete Umlenkbleche (9) gelenkt wird.

15. Reaktor (1) nach Anspruch 14, gekennzeichnet durch zwei oder mehrere getrennte Wärmetauschermittelkreisläufe durch die Wärmetauscherplatten (2, 3, 4). 16. Reaktor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß im zentralen Innenraum (7) eine Düse (10) und ein konzentrisches Leitrohr (11) angeordnet ist, das sich im wesentlichen über die gesamte Länge des Reaktors (1) mit Ausnahme der Reaktorenden erstreckt und eine Querschnittsfläche im Bereich von einem Zehntel bis zur Hälfte der Querschnittsfläche des Reaktors (1) aufweist. 17. Reaktor (1) nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß im Reaktorbereich unterhalb des unteren Endes des konzentrischen Leitrohrs (11) eine Prallplatte (12) angeordnet ist. 18. Reaktor (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß es sich um einen Wirbelschichtreaktor handelt. 19. Verwendung des Reaktors (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 15 oder 18 zur Durchführung von Gasphasenreaktionen in Gegenwart eines Katalysators, insbesondere eines bewegten Katalysators. 20. Verwendung des Reaktors (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 18 zur Durchführung von exothermen Reaktionen, insbesondere von Oxidationsreaktionen, besonders bevorzugt zur Oxidation von Kohlenwasserstoffen, insbesondere von Alkanen oder Alkenen sowie zur Herstellung von Acrolein, Acrylsäure, Ethylenoxid, Propylenoxid, Maleinsäureanhydrid, Phthalsäureanhydrid oder Glyoxal.

Hierzu 17 Seite(n) Zeichnungen

**- Leerseite -**

FIG.1

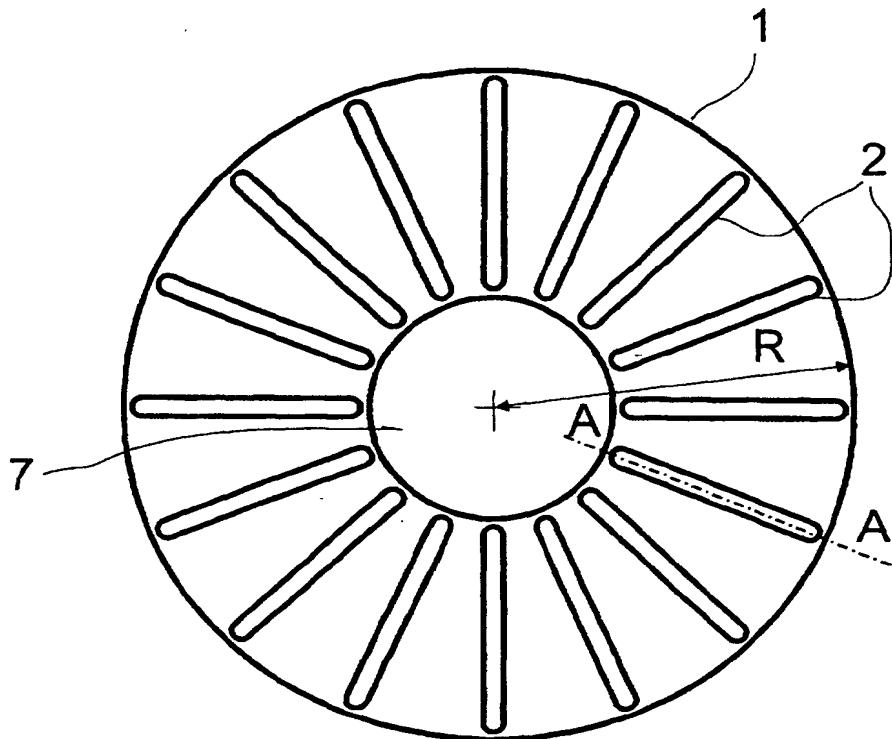


FIG.1a (A-A)

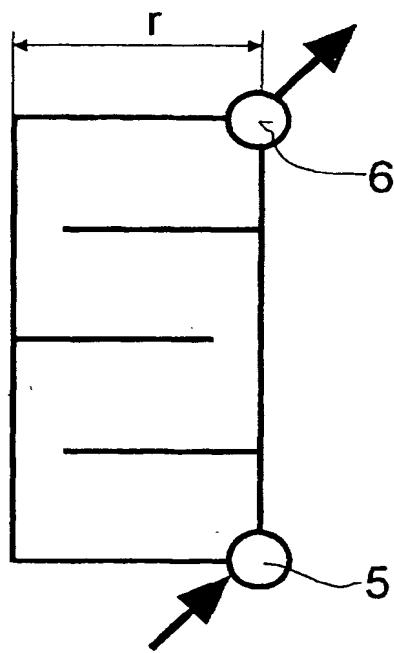


FIG.2

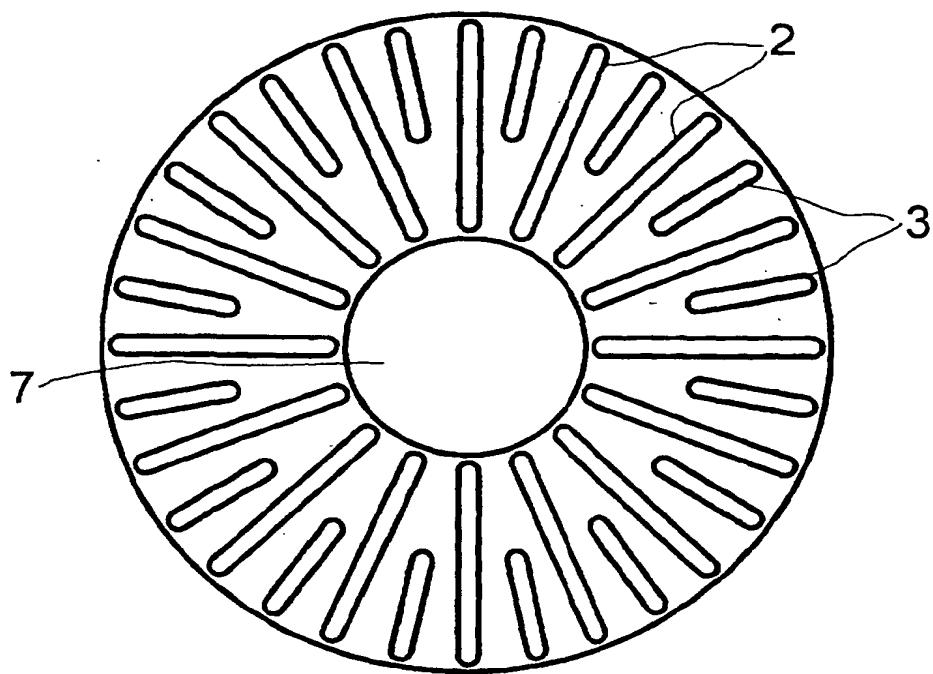


FIG.3

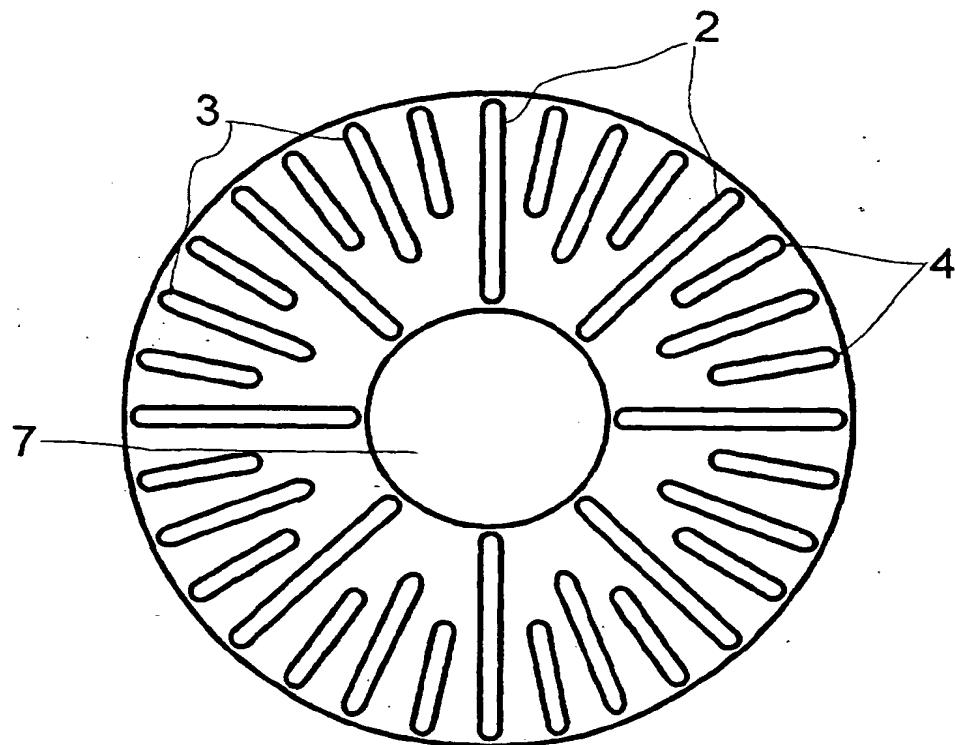


FIG.4a

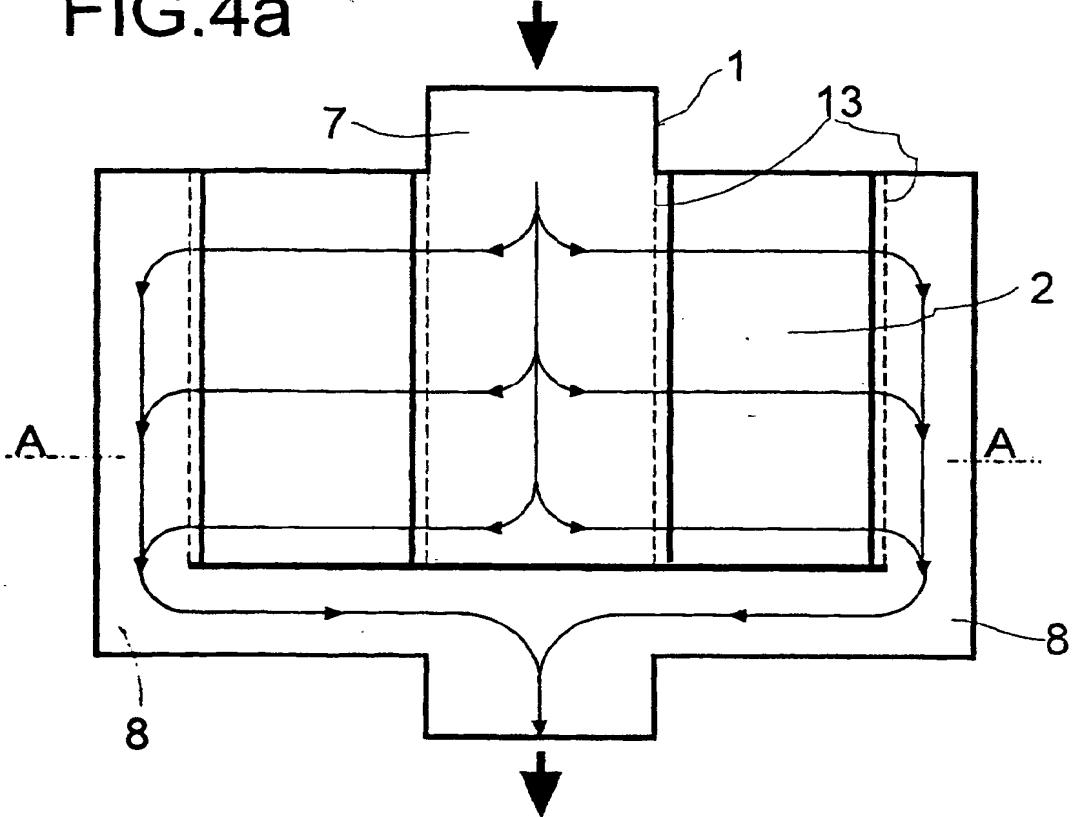


FIG.4b (A-A)

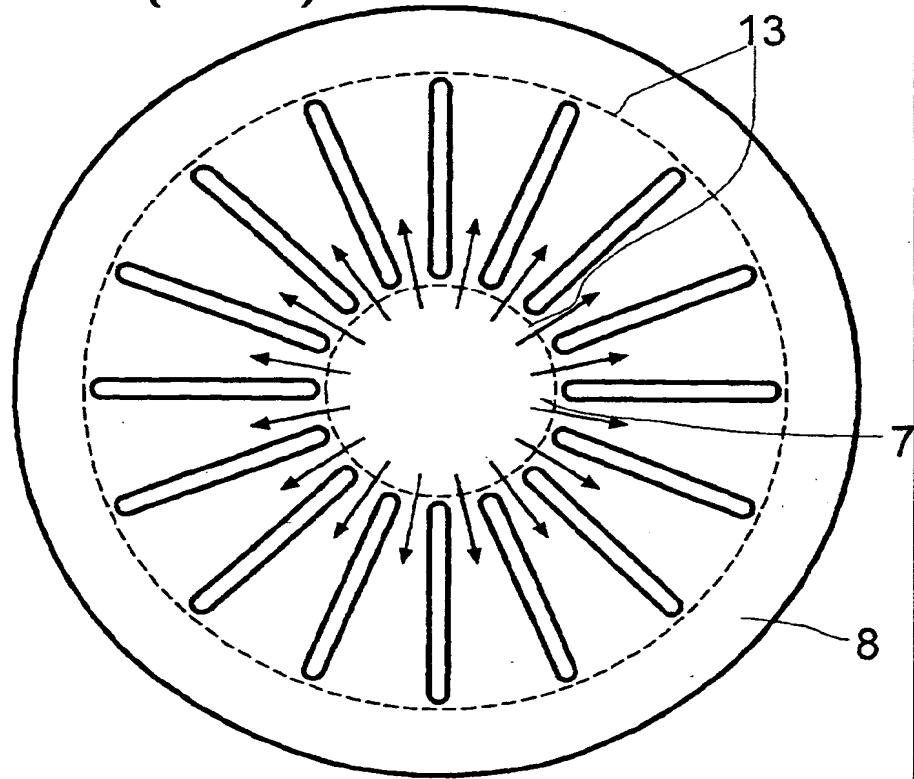


FIG.5a

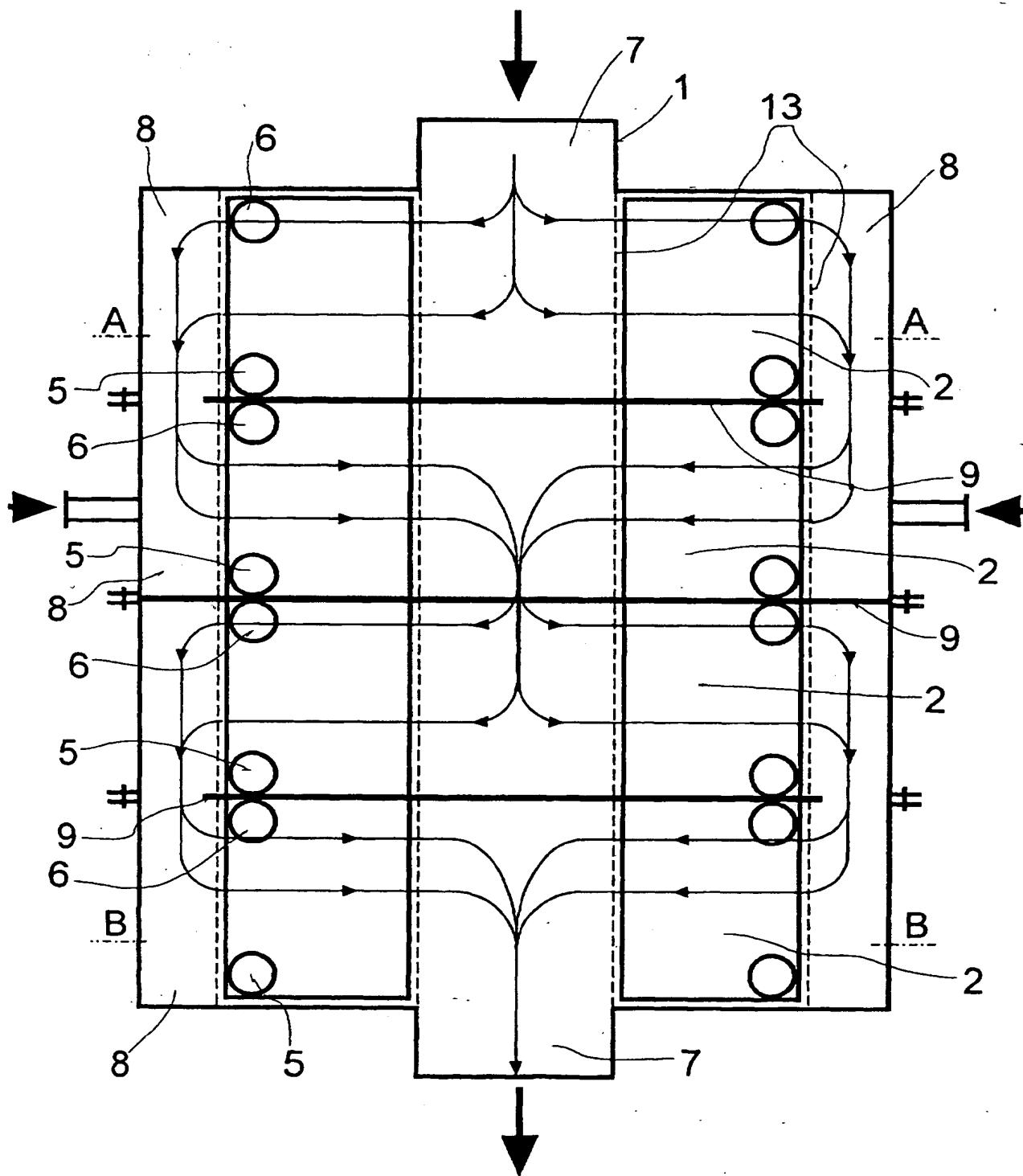


FIG.5b (A-A)

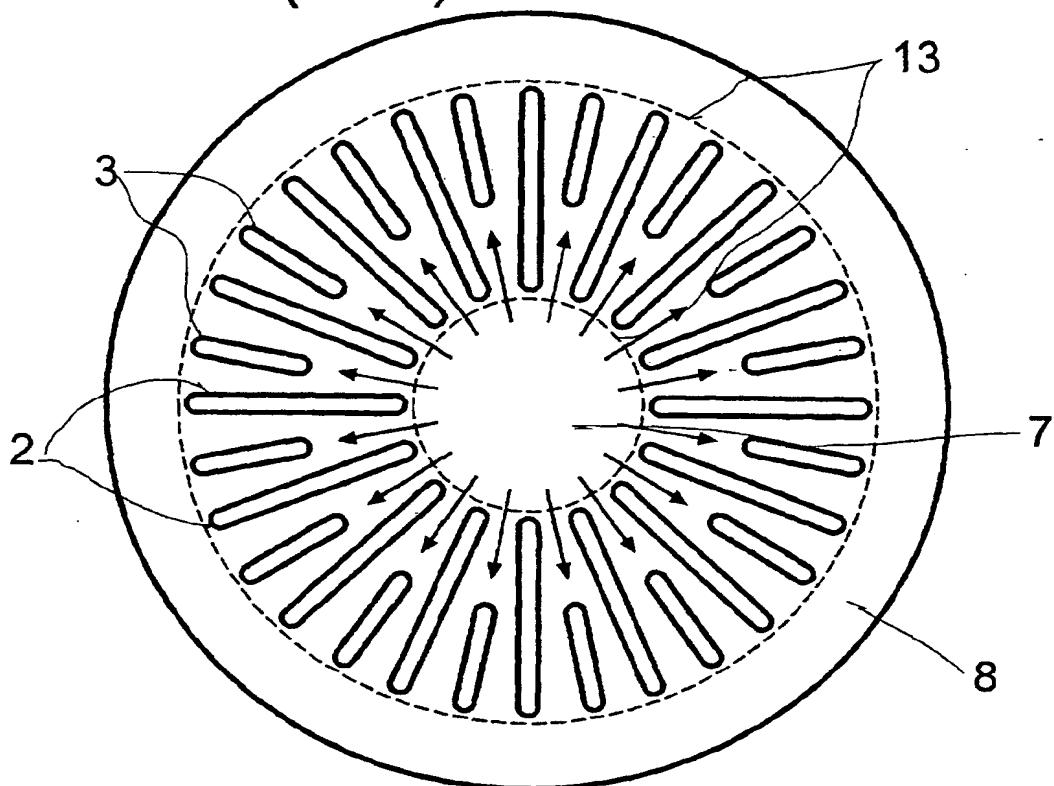


FIG.5c (B-B)

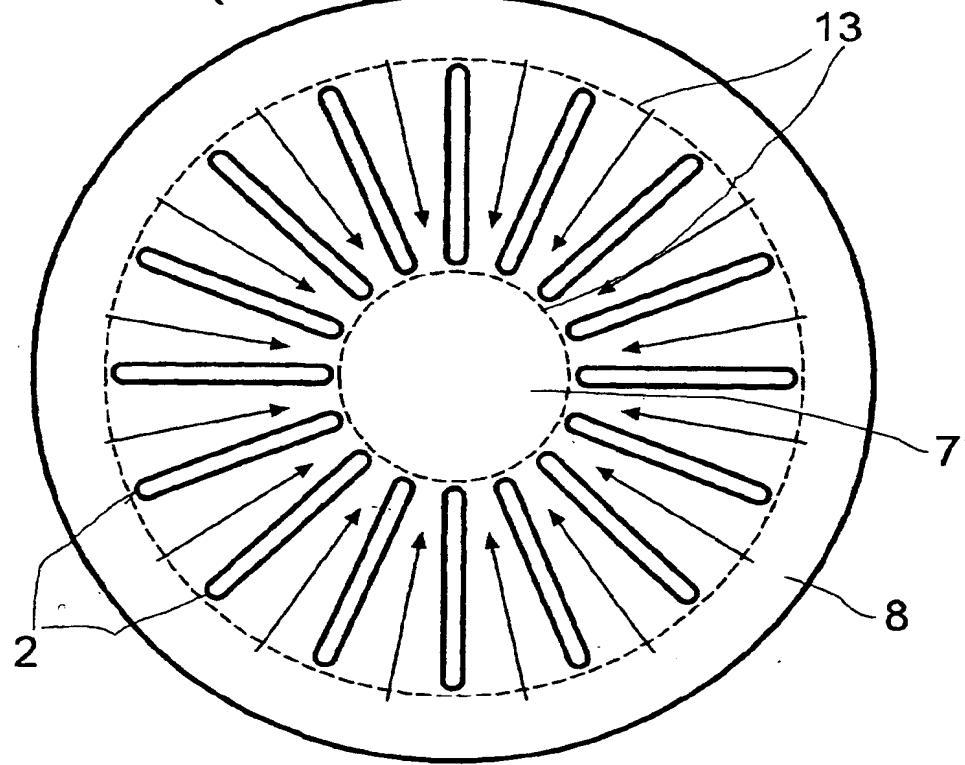


FIG.6a

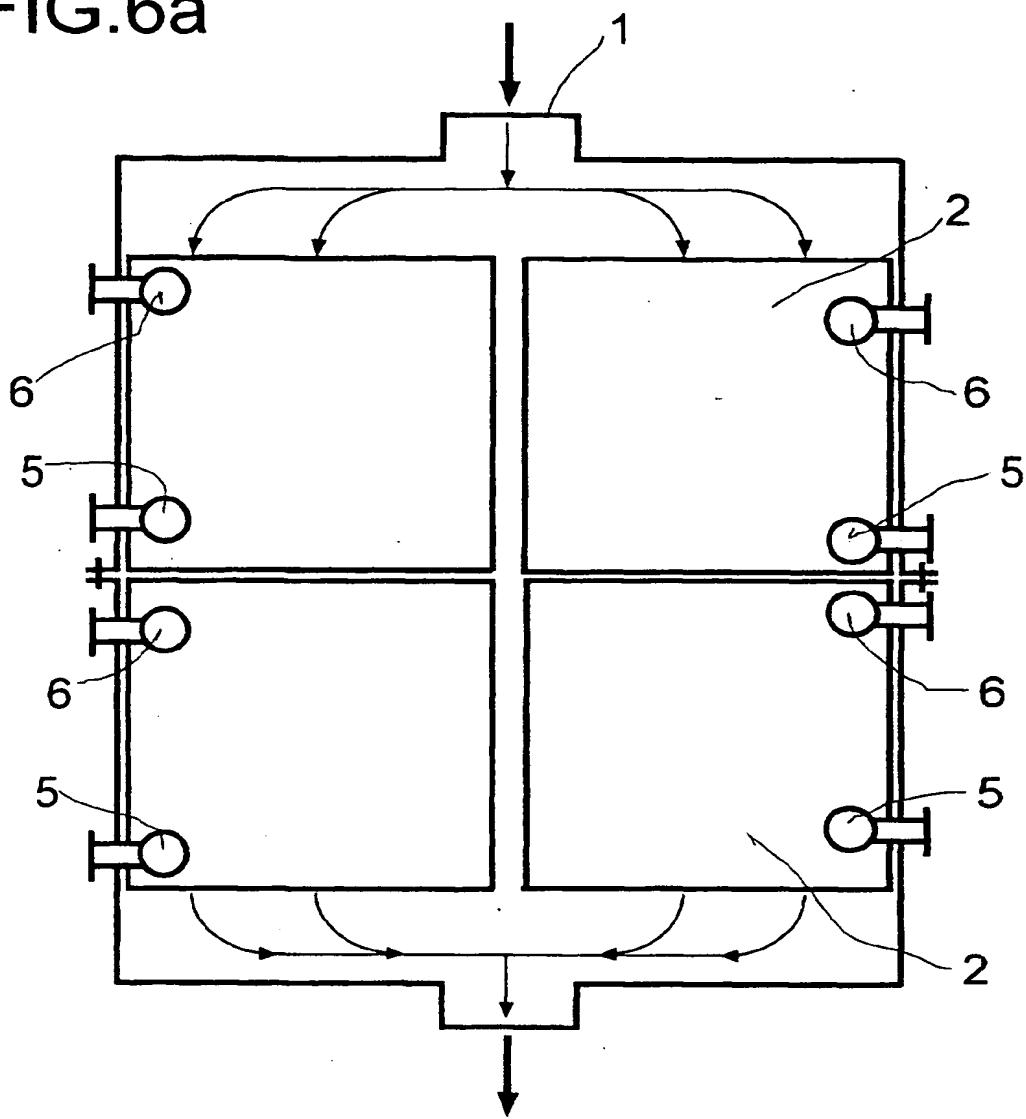


FIG.6b (A-A)

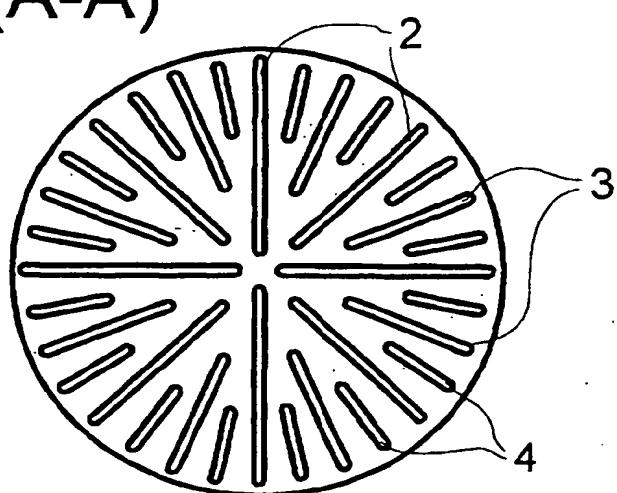


FIG.7a

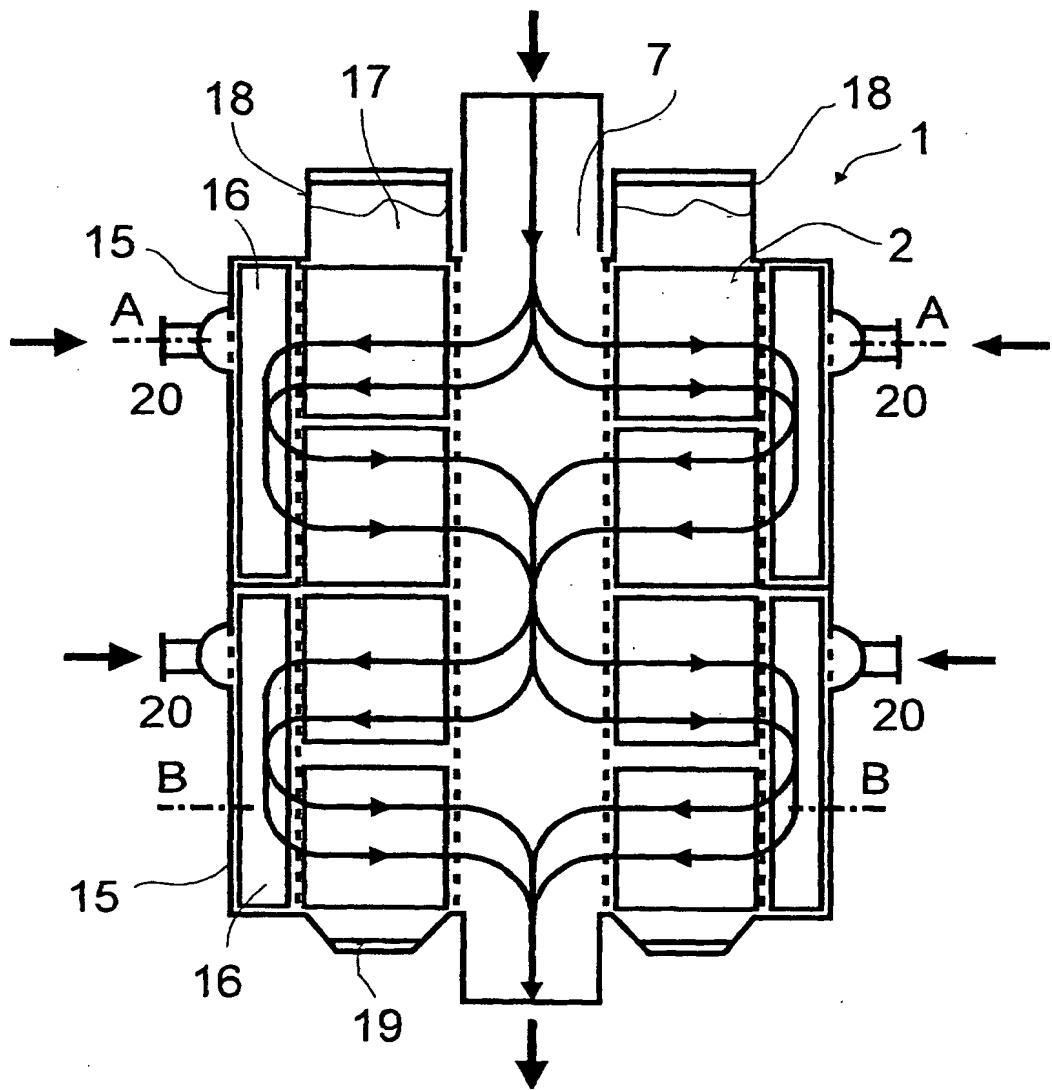


FIG.7b (A-A)

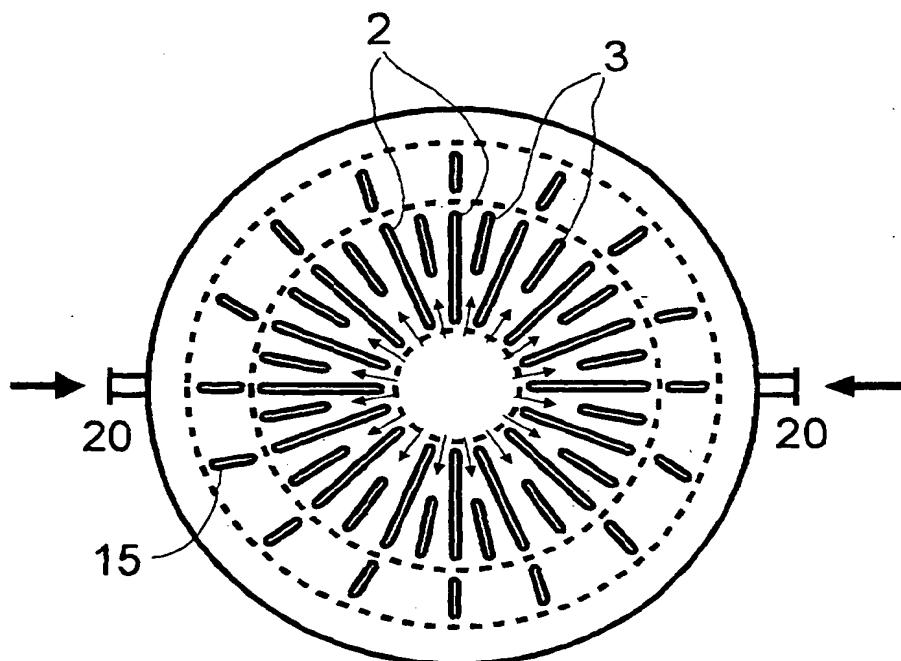


FIG.7c (B-B)

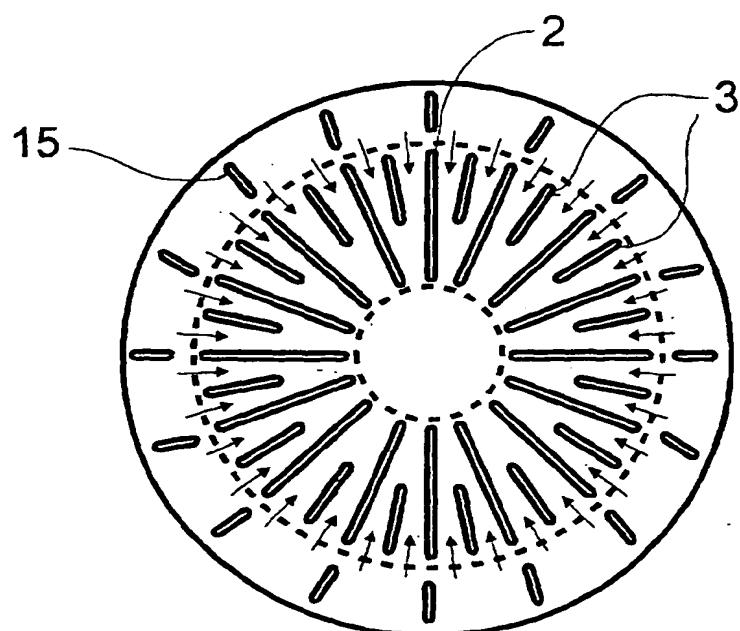


FIG.8a

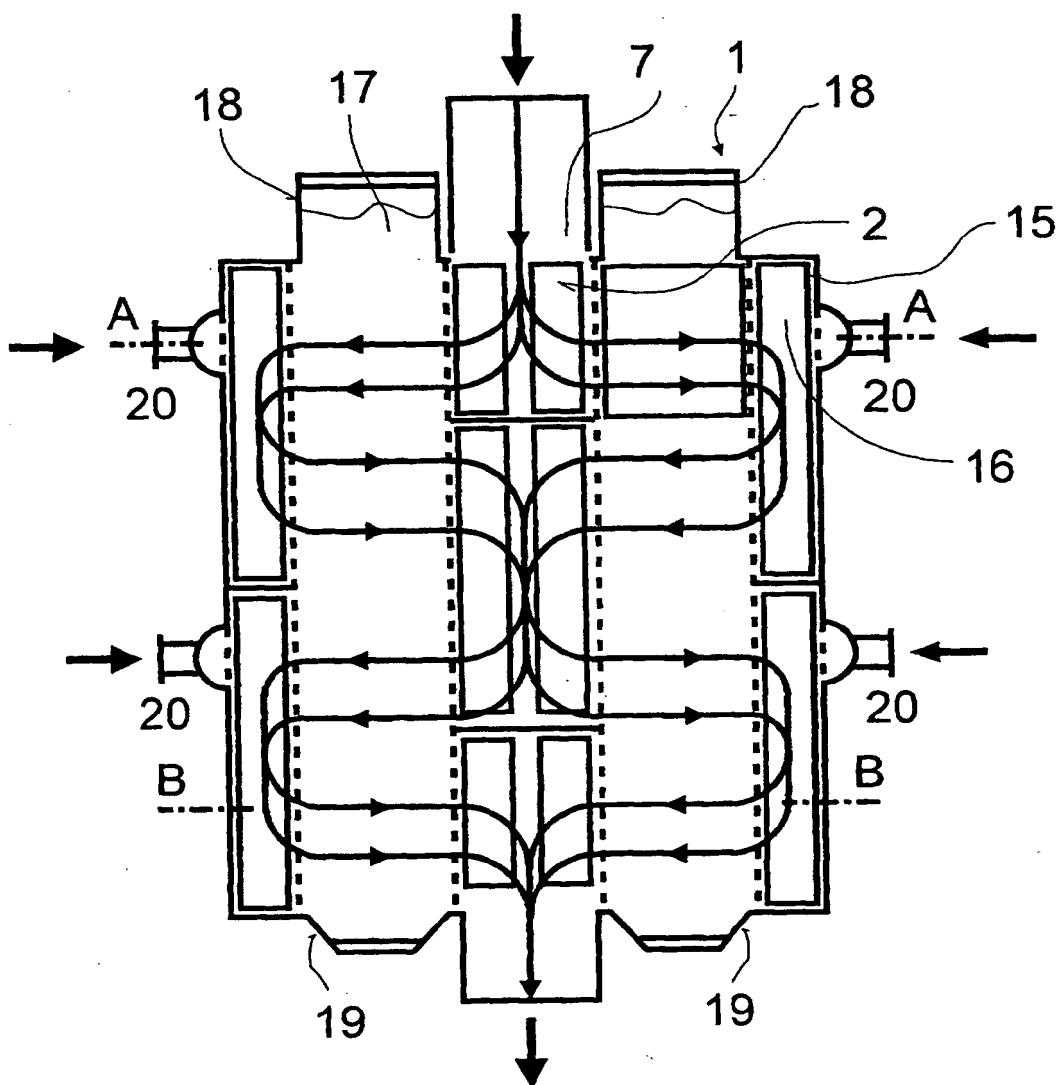


FIG.8b (A-A)

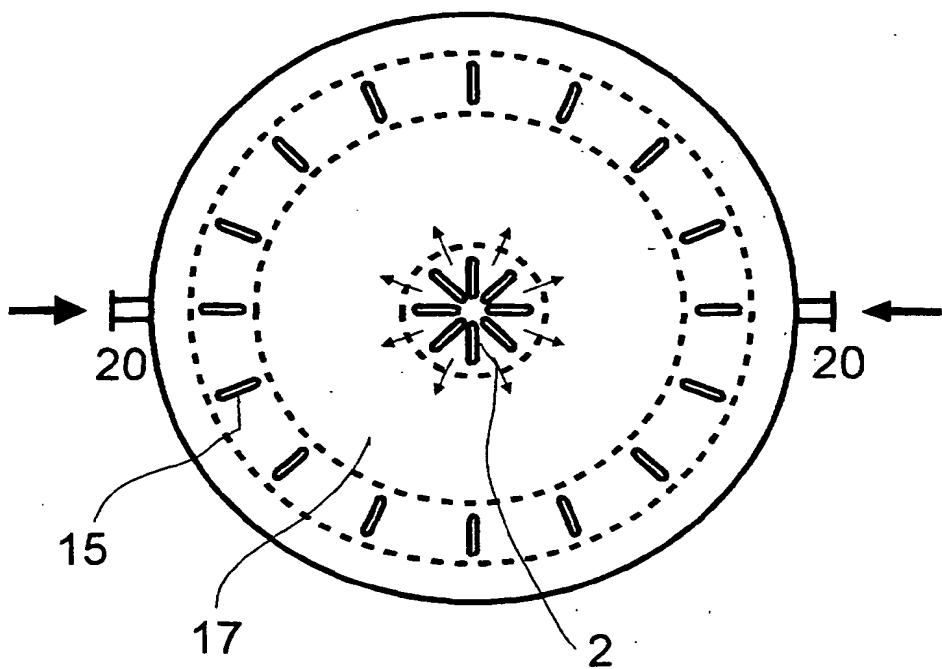


FIG.8c (B-B)

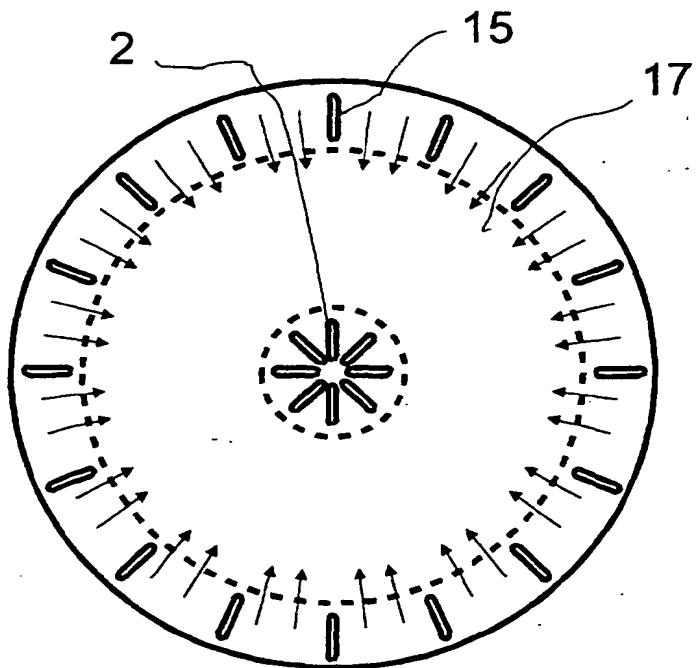


FIG.9

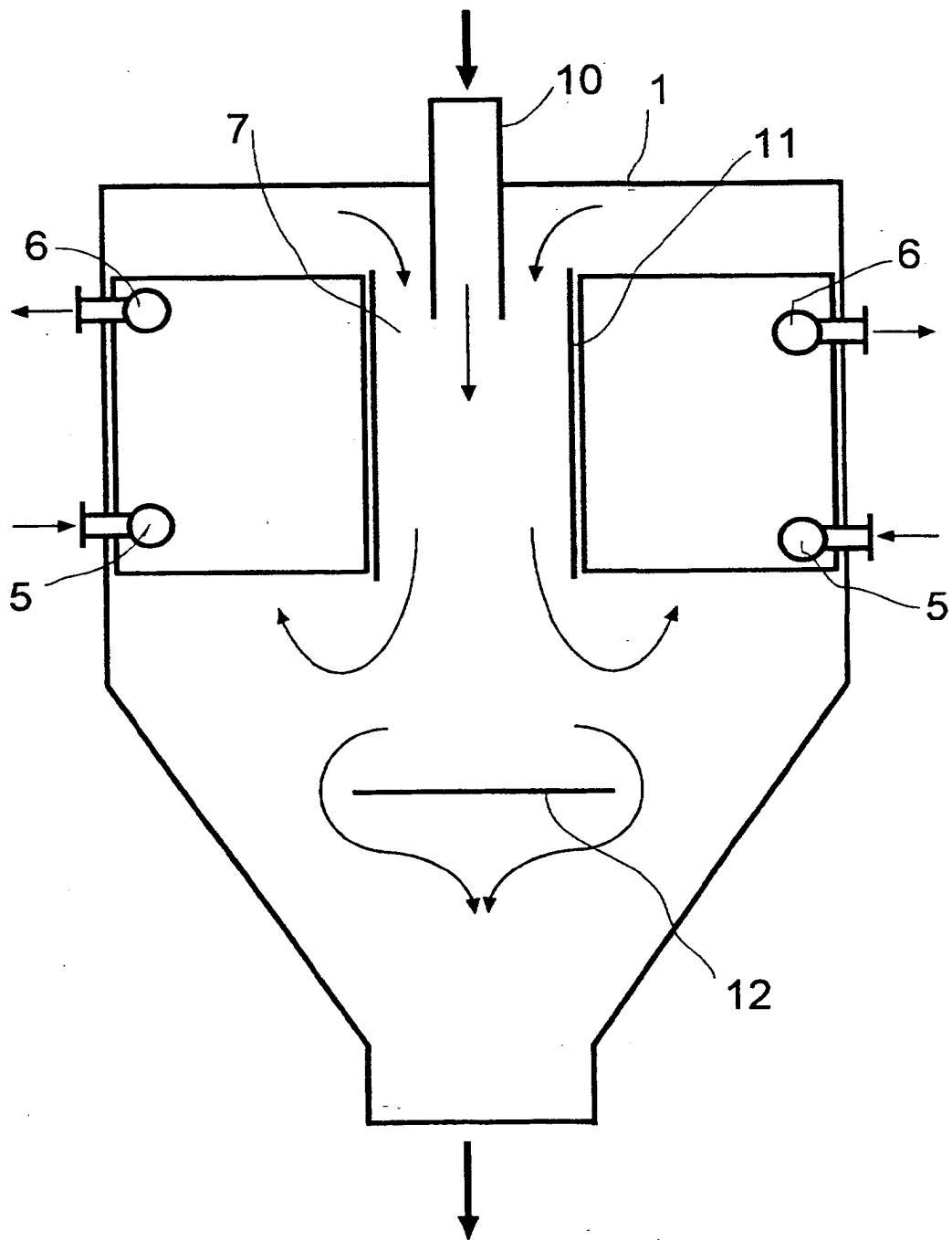


FIG. 10

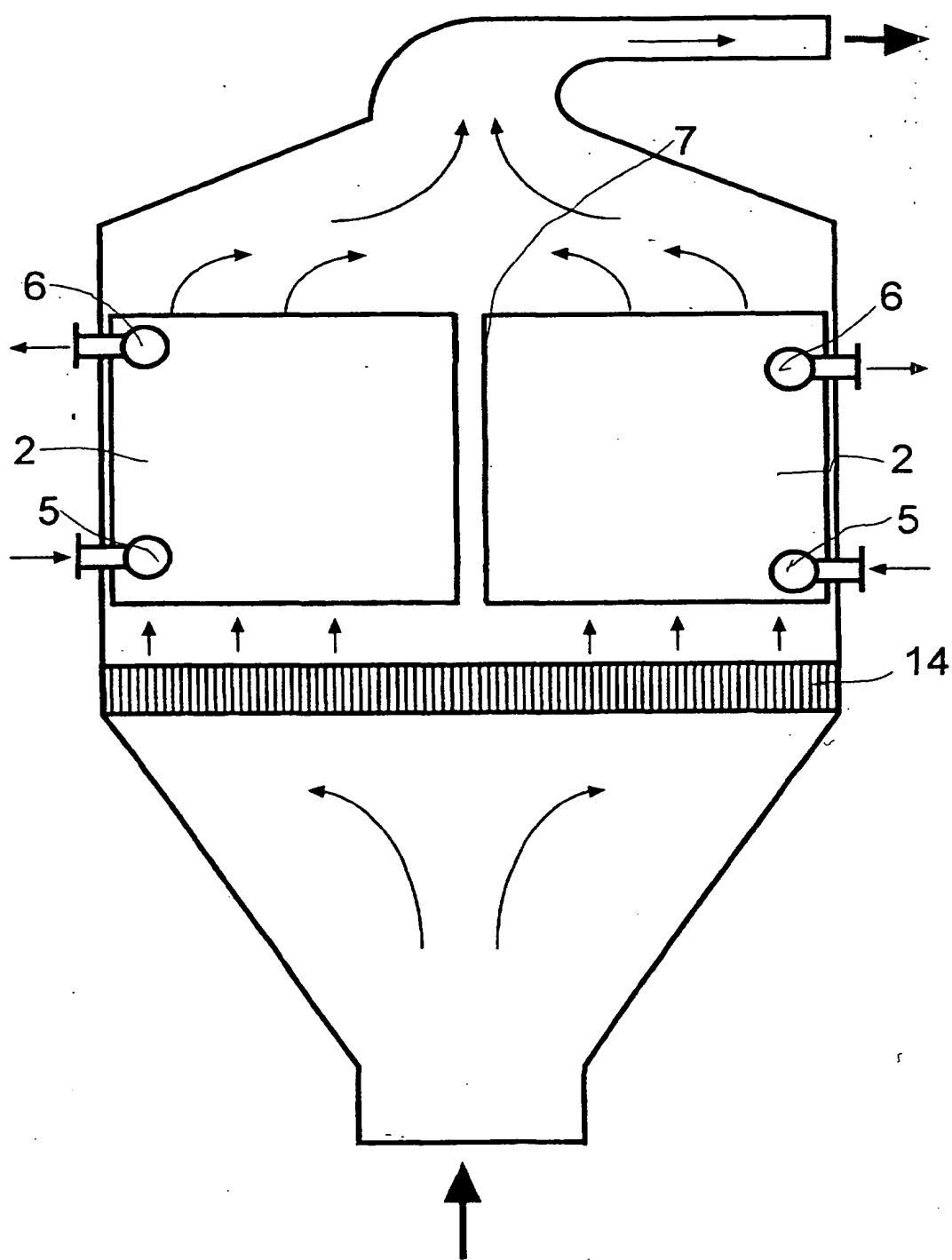


FIG.11a

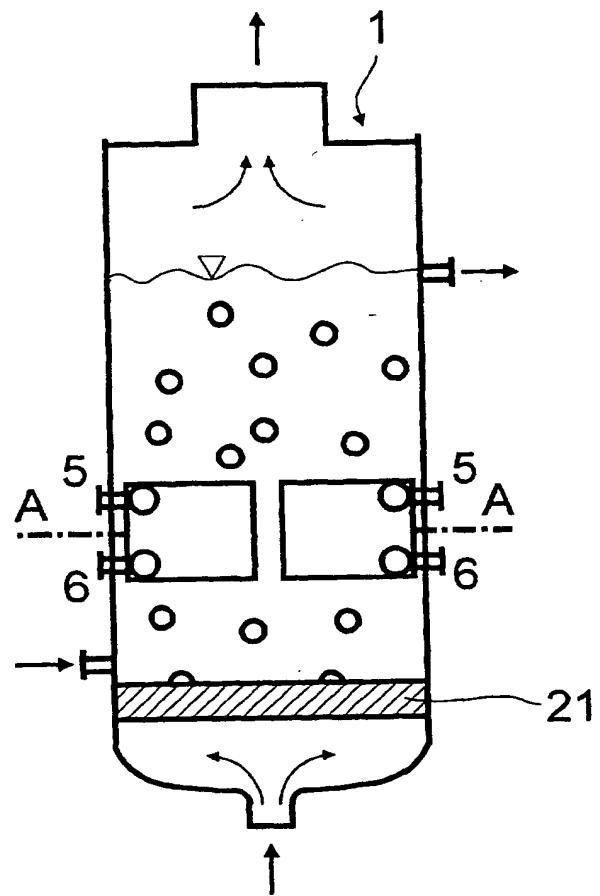


FIG.11b (A-A)

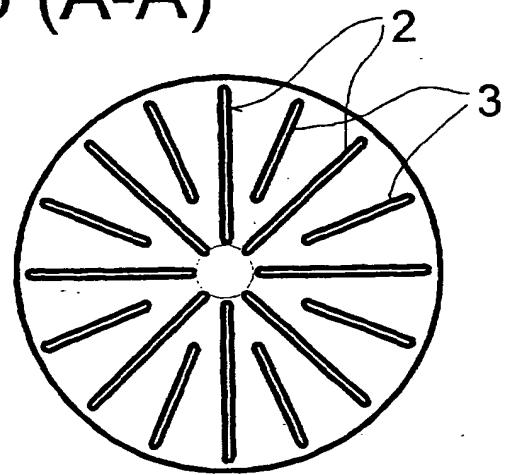
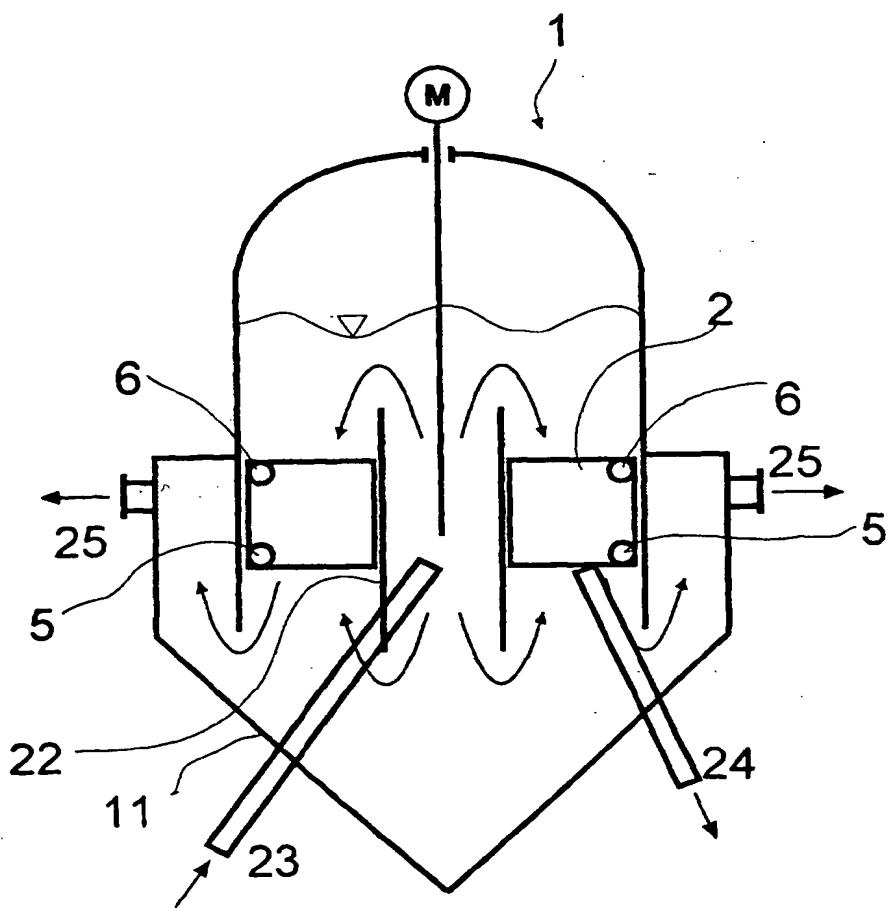
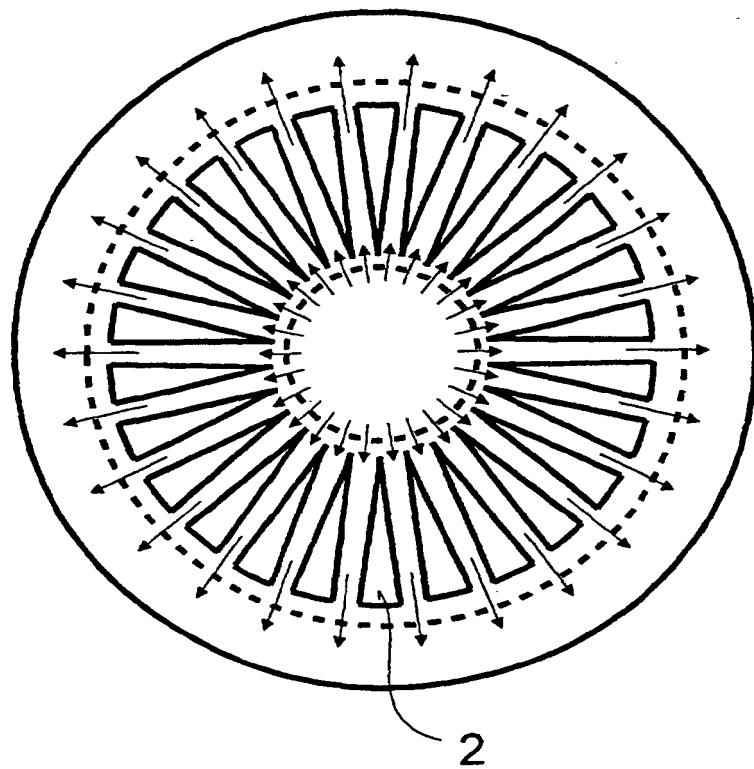


FIG.12



# FIG. 13



# FIG.14

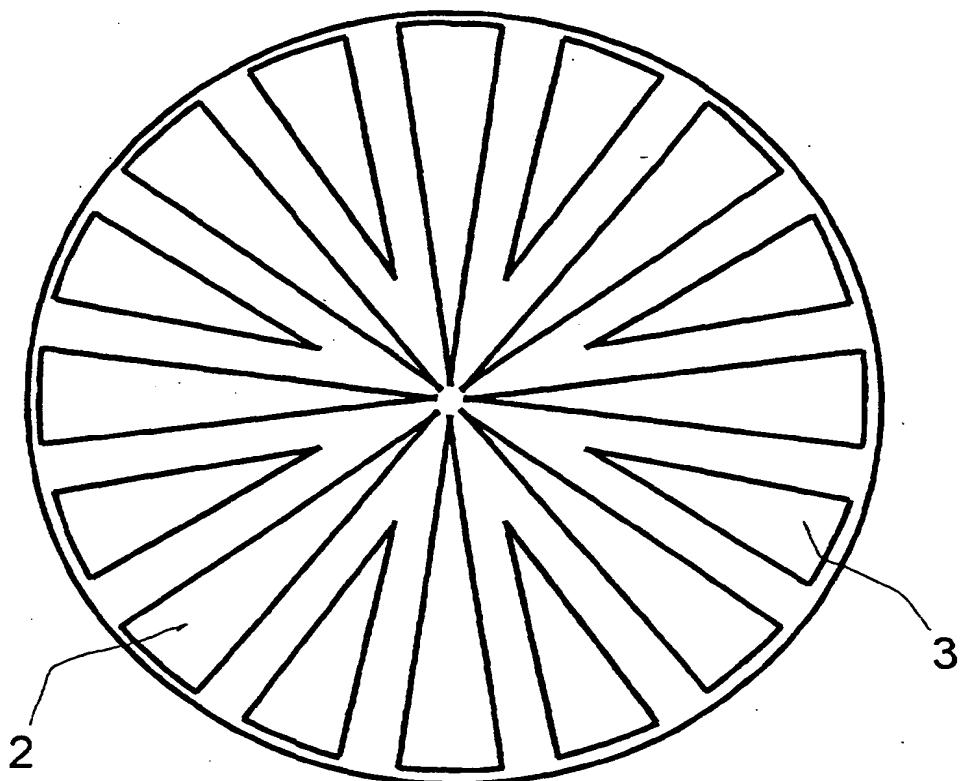


FIG.15

